

# ANALISA PERUBAHAN DIMENSI BAJA AISI 1045 SETELAH PROSES PERLAKUAN PANAS (HEAT TREATMENT)

Sasi Kirono, Eri Diniardi, Isgihardi Prasetyo  
Jurusan Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta

**Abstrak.** Salah satu cara meningkatkan sifat mekanis dari baja adalah dengan proses pengerasan ( Hardening ). Tetapi proses ini sering juga diikuti dengan adanya dampak negatif yang justru sangat merugikan, seperti perubahan bentuk ( Distorsi ).

Karena terjadinya hal tersebut di atas, maka perlu dilakukan penelitian perubahan bentuk setelah proses pengerasan. Material yang digunakan adalah baja AISI 1045 dengan proses pengerasan yang dilakukan pada media air, oli, dan udara yang temperatur austenisasinya 8500 C dan waktu penahanan ( holding time ) masing-masing 30 menit.

Nilai kekerasan setelah proses Heat Treatment juga mengalami perubahan yang cukup besar. Pada media pendinginan air terjadi peningkatan hingga 300 % disusul media pendingin oli sekitar 200 % dari kekerasan awal. Tetapi pada media pendinginan udara terjadi penurunan nilai kekerasan sekitar 10 % dari kekerasan awal.

Kata kunci: baja AISI 1045

## PENDAHULUAN

### LATAR BELAKANG

Kemajuan industri suatu negara pada umumnya secara langsung maupun tidak langsung tidak dapat dipisahkan dari peranan industri logam. Apapun jenis industrinya selalu menggunakan logam.

Dengan semakin besarnya peranan industri logam untuk kemajuan industri lainnya, maka produk dari industri logam yang dalam hal ini baja karbon dituntut untuk mempunyai mutu yang baik. Terutama untuk industri logam yang menghasilkan mesin-mesin atau komponen suatu industri, dimana mesin-mesin atau komponen tersebut sangat mempengaruhi kelangsungan proses dari suatu industri.

Suatu baja karbon dikatakan mempunyai kualitas yang baik apabila baja karbon tersebut memiliki sifat-sifat yang dibutuhkan sesuai dengan fungsinya, misalnya ukuran dimensi, kekerasan, kekuatan, keausan, dan sebagainya. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mendapatkan sifat-sifat tersebut adalah dengan melakukan proses perlakuan panas pada baja yang bersangkutan.

Proses perlakuan panas merupakan tahap akhir dari suatu rangkaian proses pengerjaan logam sebelum dipergunakan sesuai dengan kebutuhannya. Pada proses perlakuan panas, hambatan yang sering dihadapi adalah timbulnya distorsi, perubahan bentuk dan ukuran (dimensi).

## LANDASAN TEORI

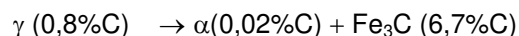
### FERIT

Fasa ferit disebut besi alpha ( $\alpha$ ) dan merupakan larutan padat interstisi dengan sel kristal berupa BCC (Body Centered Cubic). Ruang antara atomnya kecil dan rapat sehingga kelarutan karbon sangat kecil. Pada suhu ruang kadar karbonnya hanya 0,008% sehingga dapat dianggap besi murni. Kadar maksimum besi alpha sebesar 0,02% pada suhu A1 atau 7270C. Ferit bersifat feromagnetik sampai pada suhu 7680C dan bersifat ulet.

### PERLIT

Fasa ini merupakan campuran yang terdiri dari dua fasa ferit dan sementit dalam bentuk lamellar yang berseling-seling. Perlit merupakan hasil dari reaksi eutektoid pada pendinginan dibawah suhu 727<sup>0</sup>C.

Reaksi kimianya sebagai berikut :



Semakin cepat laju pendinginan, butirannya akan semakin halus dan sifat mekanis baja menjadi lebih baik dibandingkan perlit kasar.

## **BAINIT**

Fasa ini merupakan campuran dari dua fasa yaitu ferit dan sementit dalam bentuk jarum-jarum sementit dengan orientasi acak yang berada dalam celah ferit. Fasa ini juga terbentuk dari fasa austenit tetapi dengan laju pendinginan yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan perlit. Kondisi ini menyebabkan fasa bainit tidak terdapat pada diagram kesetimbangan. Fasa ini sifatnya lebih keras daripada ferit, austenit, dan perlit. Untuk memperoleh fasa bainit 100% harus melalui pendinginan isothermal pada suhu tertentu tergantung dari tipe bajanya.

## **MARTENSIT**

Fasa ini merupakan larutan padat interstisi dengan sel kristal berupa BCT (Body Centered Tetragonal) dan berada pada kondisi lewat jenuh. Hal ini disebabkan karena martensit terbentuk pada pendinginan sangat cepat dari fasa austenit, sehingga proses difusi tidak berlangsung. Martensit bersifat keras, kuat, tetapi rapuh dan merupakan fasa metastabil karena dengan pemanasan yang cukup lama dapat berubah menjadi ferit dan sementit karena terjadi proses difusi karbon. Karena kekerasan martensit meningkat dengan bertambahnya karbon.

## **AUSTENIT**

Fasa ini disebut besi gamma ( $\gamma$ ) dan merupakan larutan padat interstisi dengan sel kristal berupa FCC (Face Centered Cubic). Ruang antar atomnya lebih besar dibandingkan dengan ferit dan fasa ini stabil pada suhu yang lebih tinggi yaitu antara 910°C sampai 1400°C, pada besi murni. Kadar karbon maksimum besi gamma 2,06% pada suhu 1147°C. Karena kadar karbon dalam baja umumnya lebih kecil dari 2%, maka proses austenisasi seluruh karbon dapat larut sebagai larutan padat. Pada suhu stabilnya austenit bersifat magnetik pada kondisi apapun. Austenit merupakan fasa yang penting sebagai dasar pembentuk fasa-fasa lainnya dalam proses perlakuan panas.

## **SEMENTIT**

Fasa ini disebut besi karbida yang merupakan senyawa interstisi dengan rumus kimia  $\text{Fe}_3\text{C}$ . Perbandingan atom-atom Fe dan C dalam kristal adalah 3 : 1. Sel kristal berisi 12 atom Fe dan 4 atom C, per unit sel. Kadar karbon dalam sementit sebesar 6,67% dan senyawa ini bersifat keras tetapi rapuh. Pada baja, fasa ini dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan dan ketahanan aus.

### **Distorsi pada baja karbon akibat proses perlakuan panas.**

Salah satu kerugian yang dihasilkan dari proses perlakuan panas adalah terjadinya distorsi pada part yang dilaku panas. Hal ini terutama terjadi setelah proses pencelupan (quenching) pada proses pengerasan. Pengertian distorsi secara mikro adalah perubahan yang melibatkan perubahan volume spesifik akibat transformasi fasa.

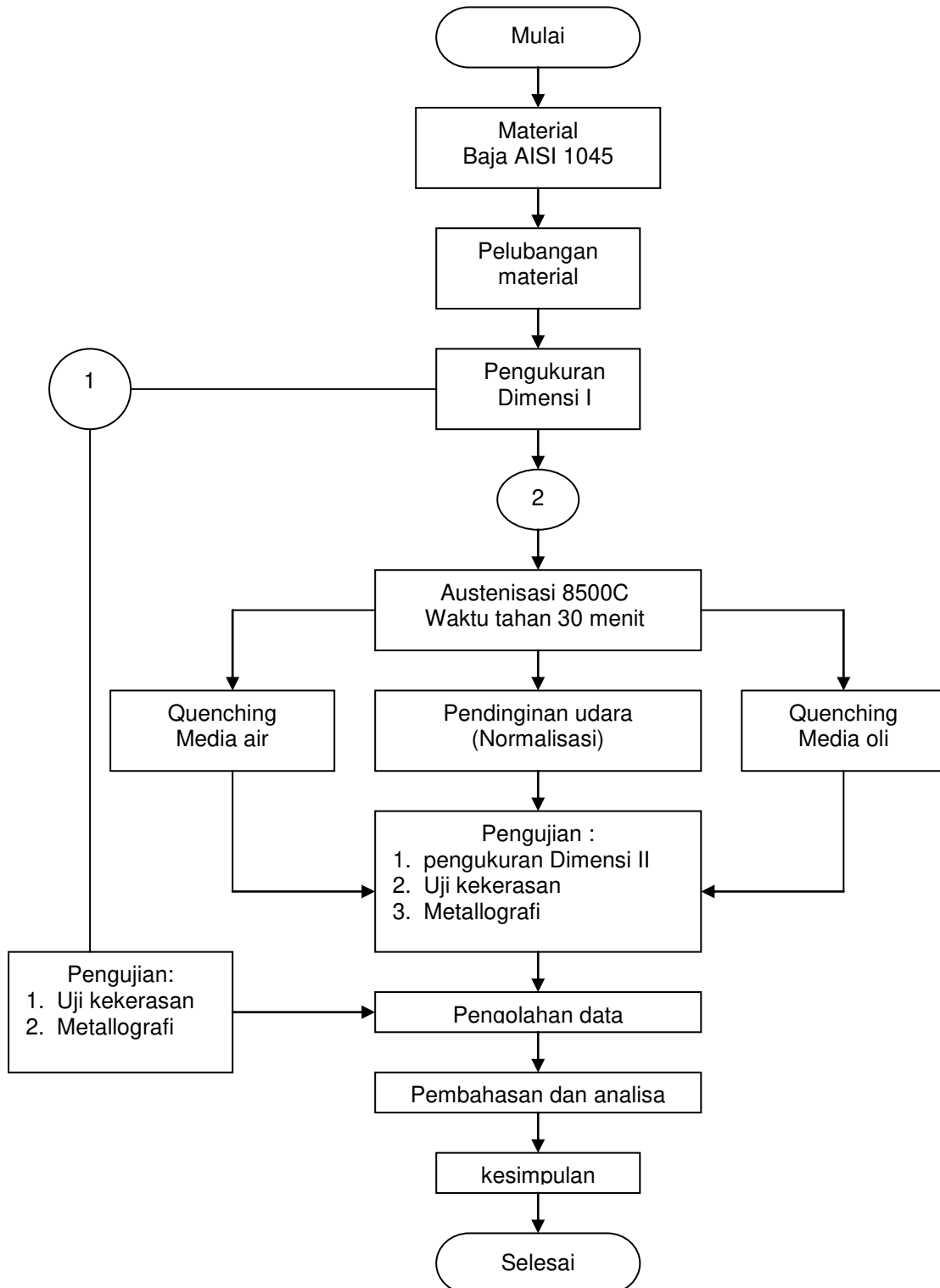
Sedangkan secara makro distorsi merupakan suatu perubahan dimensi yang bersifat irreversible (tidak dapat berubah ke bentuk semula).

Pada dasarnya distorsi dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu distorsi bentuk (shape distortion) dan distorsi ukuran (size distortion). Secara umum distorsi dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

1. Kesalahan desain
  - Adanya perbedaan ukuran pada part
  - Adanya bentuk yang rumit dan mempunyai sudut-sudut yang tajam
2. Kesalahan bahan
  - Apabila material yang akan dilaku panas mempunyai cacat seperti inklusi, kekosongan atom dan sebagainya.
3. Pengaruh pengerjaan permesinan
  - Adanya tegangan permukaan (tegangan sisa).
  - Timbulnya konsentrasi tegangan pada tempat-tempat tertentu.
4. Transformasi selama proses perlakuan panas.
  - Adanya gradien temperatur yang dapat menyebabkan terjadinya pemuaian dan penyusutan yang tidak seragam.
  - Adanya transformasi fasa yang dapat merubah volume spesifik dari fasa tersebut.

- Timbulnya tegangan thermal.

## METODOLOGI PENELITIAN



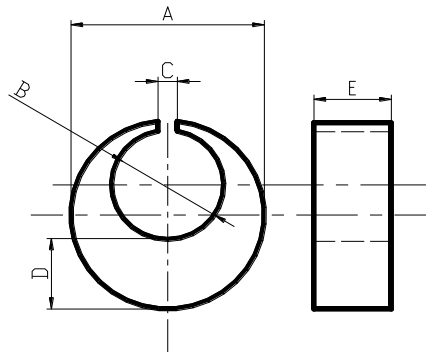
**Gambar 1. Diagram alir penelitian**

### Penyiapan bahan

Sebelum penelitian dimulai, perlu dipersiapkan terlebih dahulu bahan yang akan diteliti. Material yang akan diteliti adalah baja AISI 1045, sedangkan bentuk dan ukuran benda uji seperti terlihat pada gambar 1. Standar pengujiannya dapat dilihat pada lampiran.

Keterangan :            A = 50 mm, B = 29 mm

C = 5 mm, D = 19 mm  
E = 20 mm



**Gambar 1. Bentuk dan ukuran benda uji**

Pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan mesin bubut dan mesin bor serta pembuatan celah benda uji dilakukan dengan menggunakan gergaji besi, sedangkan penandaan garis sumbu dilakukan dengan alat penggores dan dilakukan diatas meja rata.

#### **Pemanasan Spesimen**

Baja AISI 1045 yang telah dibentuk mejadi spesimen 'NAVY C', sekaligus uji metallografi dipanaskan ke dalam dapur pemanas atau muffle furnace dengan suhu pemanasan yaitu pada suhu 850o C dan pada suhu tersebut ditahan di dalam dapur selama 30 menit. Adapun jalannya pemanasan sebagai berikut :

1. Memanaskan spesimen 'NAVY C' sebanyak 6 spesimen dan dipanaskan sampai suhu 850o C. Setelah mencapai suhu tersebut spesimen tetap ditahan dalam dapur selama 30 menit.
2. Dari ke 6 spesimen tersebut digunakan untuk uji kekerasan, pengukuran dimensi, sekaligus untuk uji metallografi. Sebanyak 2 buah dari masing-masing spesimen untuk pengukuran dimensi II, uji kekerasan dan metallografi. Selain itu 2 buah dibiarkan normal (tidak dipanaskan), tujuannya untuk dasar perbandingan sifat yang akan didapat antara baja yang dipanaskan dengan baja yang normal.

#### **Pencelupan (Quenching).**

Setelah spesimen dipanaskan dalam dapur serta ditahan selama 30 menit dalam dapur pada suhu 850o C, spesimen lalu dikeluarkan dari dapur pemanas untuk kemudian di dinginkan dengan jalan mencelupkan spesimen yang telah dipanaskan tersebut ke dalam media pendingin seperti air dan oli. Oli yang dipakai disini adalah minyak pelumas mesin SAE 40.

#### **Pengukuran Dimensi**

Pengukuran dimensi dilakukan untuk mengetahui perubahan dimensi baik bentuk maupun ukuran yang terjadi selama proses perlakuan panas. Dalam pelaksanaannya, proses pengukuran dilakukan dalam dua tahap pengukuran, yaitu sebelum proses perlakuan panas dan setelah proses perlakuan panas.

Untuk mendapatkan hasil pengukuran dimensi benda uji dengan tingkat ketelitian yang tinggi, pengukuran dimensi benda uji menggunakan sebuah sistem pengukuran tiga dimensi yang disebut dengan CMM. Alat ini terdiri dari dua perangkat yang saling berhubungan, yaitu lengan pengukur (PROBE) dan satu unit komputer sebagai pengolah data dan lay-out pengukuran.

#### **Uji kekerasan (Hardness Test).**

Kekerasan adalah daya tahan dari suatu material untuk melawan benda lain yang ditusukkan kepadanya. Ada beberapa sistem untuk menguji kekerasan material antara lain :

- Mohs.
- Brinell.

- Vickers.
- Rockwell.

Untuk keperluan penelitian maka penulis memakai sistem uji kekerasan dengan sistem Vickers. Prinsip pengujian dengan system Vickers adalah dengan menggunakan indenter. Indenter vickers adalah berbentuk pyramid dengan sudut puncak 136o dan dasar berbentuk persegi empat.

Indenter Vickers terbuat dari intan, oleh karena itu system Vickers sangat cocok untuk logam baja yang sangat keras sekalipun. Nilai kekerasan Vickers ditentukan oleh hasil bagi gaya P (N) dan luas permukaan bekas penekanan A (mm<sup>2</sup>).

Jadi nilai kekerasan Vickers adalah :

$$H_v = \frac{1,854 \times P}{d^2}$$

dimana, P = Beban (N).

d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

Hal-hal yang perlu diperhatikan untuk uji kekerasan Vickers adalah sebagai berikut :

1. Permukaan benda uji harus dibuat sehalus mungkin (dipoles), agar pengukuran jarak diagonal bekas penekanan terbaca oleh mikroskop.
2. Tebal minimum benda uji harus 1,2 kali jarak diagonal bekas penekanan (d).
3. Jarak penekan dari tepi benda uji dan jarak antara titik pengukuran minimum 3 kali jarak diagonal bekas penekanan (d).

### Uji Metallografi

Metallografi merupakan salah satu disiplin ilmu logam yang mempelajari keadaan stuktur mikro bahan logam. Hubungan antara stuktur mikro dan sifat-sifat bahan logam serta paduannya, dengan menggunakan peralatan mikroskop.

Prosedur uji Metallografi

1. Untuk memperoleh permukaan benda uji yang memenuhi syarat agar dapat diteliti dibawah mikroskop maka diperlukan kegiatan-kegiatan persiapan benda uji sebagai berikut :
  - Pemilihan benda uji yang telah mengalami proses permesinan
  - Benda uji kemudian diampas dengan amplas no : 120, 240, 360, 500, 800, 1000, dan 1200 secara berturut-turut. Setiap penggantian kertas amplas, arahnya berlawanan dengan arah sebelumnya.
  - Setelah proses pengamplasan selesai, benda uji disemprot dengan alkohol kemudian dikeringkan dengan hair dryer.
  - Selanjutnya dilakukan proses Polishing.
  - Setelah proses polishing selesai, benda uji disemprot dengan alkohol kemudian dikeringkan dengan hair dryer.
2. Selanjutnya benda uji dicelup ke dalam larutan ETSA selama beberapa saat.  
Komposisi larutan ETSA untuk jenis Fe :  
Nital 2% = (alkohol (100 ml)) + HNO<sub>3</sub> (2ml).  
Benda uji diamati di bawah mikroskop Metalloplan dengan perbesaran 500 X
3. Struktur mikro yang tampak kemudian dipotret, untuk kemudian hasil pemotretan tersebut diteliti dan dianalisa.

## ANALISA DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengukuran Dimensi

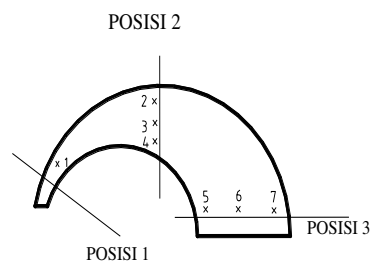
Dari hasil pengukuran perubahan dimensi yang dilakukan sebelum perlakuan panas dan setelah proses pengerasan didapat data penyimpangan bentuk dan ukuran yang dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.Data pengukuran dimensi sebelum dan sesudah proses perlakuan panas**

Media Spesimen		Air		Oli		Udara	
		Sebelum (mm)	Sesudah (mm)	Sebelum (mm)	Sesudah (mm)	Sebelum (mm)	Sesudah (mm)
I	A	49.8843	49.9840	49.9626	50.0277	50.0406	50.0637
	B	28.5196	28.7381	28.7571	28.8813	28.6479	28.8496
	C	4.6565	4.7370	4.8874	4.9174	4.9448	4.9523
	D	19.0535	19.2647	19.2406	19.3471	19.2420	19.3191
	E	21.3799	21.1683	20.1883	20.0779	21.5983	21.4693
II	A	50.0979	50.1983	50.0062	50.0703	49.9910	50.0144
	B	28.7938	29.0144	28.8697	28.9932	28.7650	28.9681
	C	4.7009	4.7822	4.9033	4.9370	5.0055	5.0136
	D	19.0300	19.2417	19.1390	19.2436	19.0776	19.1548
	E	21.4399	21.2276	20.4002	20.2830	21.0774	20.9522

### Hasil pengujian kekerasan.

Pengujian kekerasan yang dipakai adalah dengan memakai sistem pengujian Vickers dengan penekan sebesar 5 Kg/mm<sup>2</sup>. Prosedur yang dilakukan saat penelitian adalah dengan menghitung panjang diagonal bekas jejak penekanan dari indenter intan. Jejak penekanan tersebut terletak pada tujuh titik yaitu : Posisi 1 (1 titik), posisi 2 (3 titik) dan posisi 3 (3 titik).

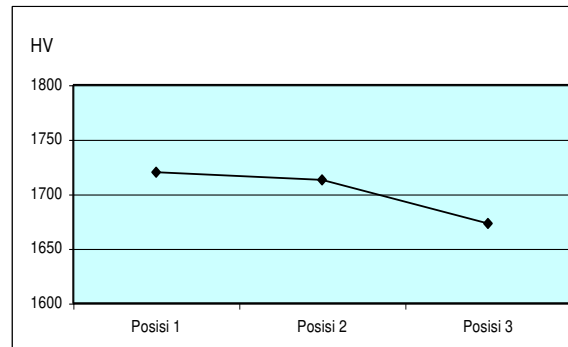


**Gambar 3. Posisi penekanan pengujian kekerasan.**

Dari hasil pengujian kekerasan didapat data rata-rata kekerasan seperti terlihat pada tabel 2. sampai dengan tabel 5. sebagai berikut :

**Tabel 2. Data hasil pengujian kekerasan baja AISI 1045 tanpa proses perlakuan panas (TP).**

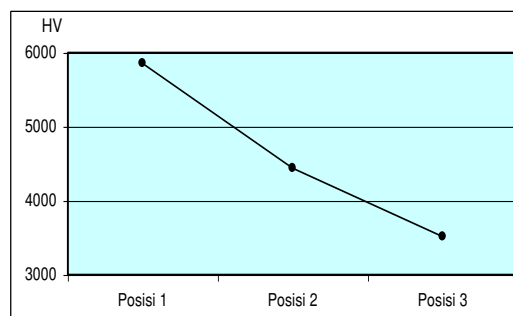
Sample	Posisi Jejak ( X )	Diameter Rata-Rata ( mm )	Hv Rata-rata ( N/mm2 )
Tanpa Perlakuan	Posisi 1	0.232	1720
	Posisi 2	0.252	1713
	Posisi 3	0.235	1673



**Gambar 4. Grafik nilai kekerasan ( Hv rata-rata ) VS posisi jejak untuk Baja AISI 1045 tanpa proses perlakuan panas.**

**Tabel 3. Data hasil pengujian kekerasan Baja AISI 1045 setelah proses perlakuan panas ( media air ).**

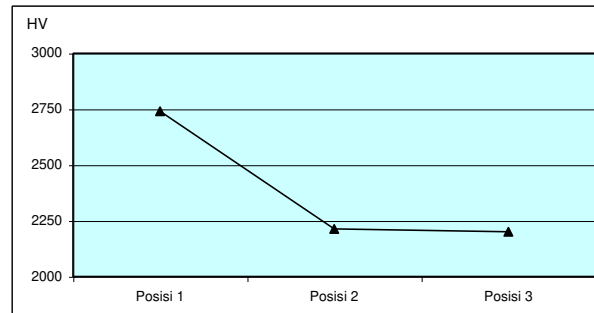
Sample	Posisi Jejak ( X )	Diameter Rata-Rata ( mm )	Hv Rata-rata ( N/mm2 )
Media Ar	Posisi 1	0,125	5850
	Posisi 2	0,145	4437
	Posisi 3	0,165	3510



**Gambar 5. Grafik nilai kekerasan ( Hv rata-rata ) VS posisi jejak untuk baja AISI 1045 setelah proses perlakuan panas ( media air ).**

**Tabel 4. Data hasil pengujian kekerasan baja AISI 1045 setelah proses perlakuan panas ( media oli ).**

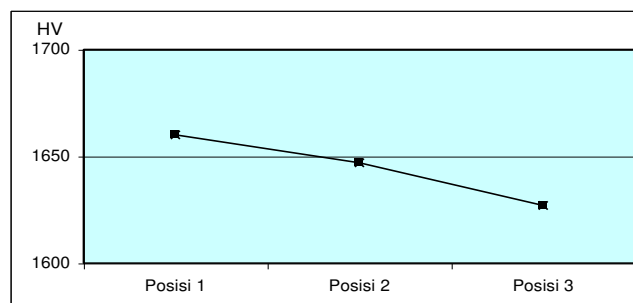
Sample	Posisi Jejak ( X )	Diameter Rata-Rata ( mm )	Hv Rata-rata ( N/mm <sup>2</sup> )
Media oli	Posisi 1	0,184	2740
	Posisi 2	0,205	2213
	Posisi 3	0,206	2200



**Gambar 6. Grafik nilai kekerasan ( Hv rata-rata ) VS posisi jejak untuk baja AISI 1045 setelah proses perlakuan panas ( media oli ).**

**Tabel 5. Data hasil pengujian kekerasan baja AISI 1045 setelah proses perlakuan panas ( media udara ).**

Sample	Posisi Jejak ( X )	Diameter Rata-Rata ( mm )	Hv Rata-rata ( N/mm <sup>2</sup> )
Media Udara	Posisi 1	0,236	1660
	Posisi 2	0,237	1647
	Posisi 3	0,238	1627



**Gambar 7. Grafik nilai kekerasan ( Hv rata-rata ) VS posisi jejak untuk baja AISI 1045 setelah proses perlakuan panas ( media udara ).**

#### **Analisa Data Hasil Pengukuran Dimensi**

Dari data pengukuran dimensi pada table 1. dapat dilihat adanya perubahan ukuran benda uji setelah mengalami proses perlakuan panas. Perubahan ukuran benda uji ini

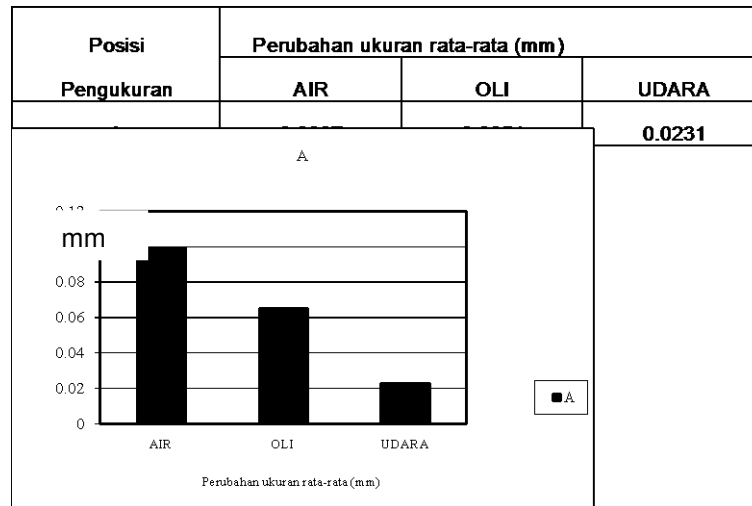


mengakibatkan dimensi benda uji ikut berubah, sehingga dengan perkataan lain bahwa benda uji mengalami perubahan dimensi setelah dilakukan proses perlakuan panas.

Pada tabel 1.juga terlihat bahwa perubahan dimensi yang terjadi pada benda uji rata-rata cenderung mengarah pada pemuaian, baik untuk benda uji dengan pendinginan air, oli, maupun udara. Berdasarkan media pendingin yang digunakan, maka besarnya perubahan dimensi benda uji tidak sama.

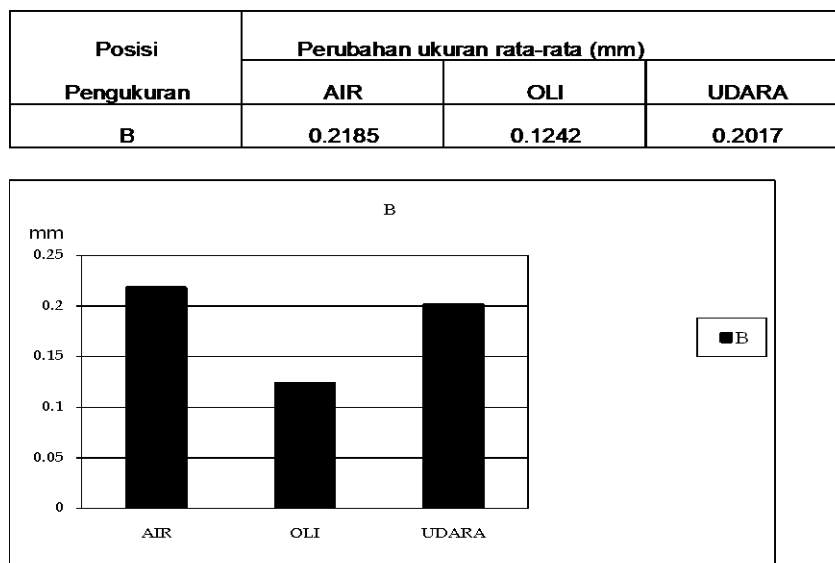
Media pendingin air menghasilkan perubahan dimensi yang paling besar bila dibandingkan dengan media oli dan udara. Hal ini terjadi hampir pada setiap posisi pengukuran.

**Tabel 6. Perubahan ukuran rata-rata pada posisi pengukuran A.**



**Gambar 8. Grafik perubahan ukuran rata-rata VS media pendingin pada posisi A**

**Tabel 7. Perubahan ukuran rata-rata pada posisi pengukuran B**



**Gambar 9. Grafik perubahan ukuran rata-rata VS media pendinginan pada**

Benda uji dengan media pendinginan air menghasilkan perubahan dimensi dari posisi A sampai E sebagai berikut : 0,2 %, 0,76 %, 1,7 %, 1,1 %, -1 %. Dan untuk media pendinginan oli sebagai berikut : 0,13 %, 0,43 %, 0,6 %, 0,55 %, -0,57 %. Sedangkan besarnya perubahan dimensi untuk media pendinginan udara yaitu : 0,046 %, 0,7 %, 0,16 %, 0,4 %, dan -0,6%

#### **Analisa Hasil Pengujian Metallografi.**

Benda uji dengan media pendingin air, pada bagian tipis memiliki struktur mikro yang terdiri dari fasa martensit (dominan) ditambah perlit dan sedikit ferit. Semakin tebal bagian benda uji maka ferit dan perlit akan bertambah.

Benda uji dengan media pendingin oli memiliki struktur mikro dengan fasa perlit (dominan) ditambah martensit dan sedikit ferit. Semakin tebal bagian benda uji maka ferit akan semakin bertambah. Sedangkan benda uji dengan pendinginan udara menghasilkan struktur mikro yang sama dengan struktur mikro kondisi awal hanya saja lebih seragam dan merata.

#### **Pembahasan Perubahan Dimensi**

Berdasarkan hal tersebut bila benda uji memiliki ketebalan berbeda, ada yang tipis dan tebal, maka bagian yang tipis akan dingin terlebih dahulu. Dan karena bagian yang agak tebal masih panas, maka bagian yang tipis seolah-olah didorong dari dalam sehingga pada bagian permukaan dapat menimbulkan tegangan tarik.

Selain kedua hal di atas ataupun gabungan kedua hal tersebut, ada hal lain yang dapat mendorong terjadinya perubahan dimensi yaitu pembentukan fasa martensit. Karena pembentukan fasa ini melalui pergeseran dari fasa austenit. Agar dapat berlangsung secara sempurna, diperlukan daya pendorong yang cukup besar sehingga mekanisme pergeseran dapat terjadi. Apabila tegangan geser fasa austenit makin besar maka daya pendorong yang diperlukannya juga semakin besar. Oleh karena itu setelah terbentuk martensit pada benda uji timbul tegangan sisa sebagai akibat daya pendorong yang digunakan. Semakin banyak martensit makin banyak tegangan sisa yang terjadi.

Berdasarkan uraian tersebut, maka jelaslah bahwa media pendingin air akan memberikan perubahan dimensi yang lebih besar dibanding media oli, apalagi media udara. Karena laju pendinginannya lebih cepat. Adanya hasil pengukuran dimensi yang berharga negatif, memang harus demikian. Sebab tidak mungkin terjadi pembesaran semua, sedangkan volumenya tetap.

#### **Pembahasan Hasil Pengujian Kekerasan.**

Dari data dan analisa hasil pengujian kekerasan diatas, dapat dilihat adanya perubahan nilai kekerasan. Hal ini terjadi karena adanya perubahan struktur setelah perlakuan panas dari fasa ferit + perlit menjadi fasa lain yang lebih keras yaitu martensit. Dalam pembentukan fasa martensit ini tergantung pada laju pendinginan. Semakin cepat laju pendinginan maka kemungkinan terbentuknya fasa martensit lebih besar. Akibatnya, kekerasan material tersebut semakin tinggi.

Adanya perbedaan nilai kekerasan di seluruh bagian benda yang terjadi karena kecepatan pendinginannya tidak sama, bagian yang lebih tipis lebih memungkinkan untuk menghasilkan fasa martensit lebih banyak. Karena laju pendinginannya lebih cepat dibanding yang tebal. Hal ini berlaku untuk semua media pendingin yang digunakan.

Benda uji setelah mengalami normalisasi ( pendinginan udara ) nilai kekerasannya menjadi lebih rendah dibandingkan sebelum dinormalisasi. Hal ini terjadi karena sebelum dinormalisasi nilai kekerasan material benda uji dipengaruhi proses pengerjaan sebelumnya, misal pergerakan ataupun forging. Akibat dari proses ini kekerasan lebih besar, tetapi setelah dinormalisasi kekerasannya menjadi turun kembali karena pengaruh proses pengerjaan sebelumnya sudah hilang.

#### **Pembahasan Hasil Pengujian Metallografi**

Berdasarkan uraian di atas dapat dijelaskan sebagai berikut : pada penelitian ini media air yang digunakan tidak memberikan laju pendinginan yang optimum, sehingga mekanisme geser untuk membentuk martensit juga tidak sempurna, akibatnya martensit yang terbentuk tidak 100% dan masih mengandung sedikit ferit dan perlit. Semakin tebal benda uji maka laju

pendinginan makin rendah sehingga martensit yang terbentukpun makin sedikit, ferit dan perlit makin bertambah.

Sedangkan pada pendinginan udara ( normalizing ), laju pendinginannya jauh lebih lambat sehingga fasa martensit tidak mungkin tercapai dan mekanisme yang memungkinkan disini adalah difusi secara sempurna, sehingga struktur yang terjadi adalah ferit dan perlit yang bentuknya hampir seragam dan lebih kecil dari kondisi awal.

## KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan terhadap data-data hasil pengujian benda uji, maka dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perubahan dimensi setelah proses pengerasan / hardening disebabkan oleh :
  - Gradien temperatur
  - Transformasi fasa
  - Tegangan thermal ( sisa )
  - Geometri benda uji
2. Media pengerasan air menghasilkan perubahan dimensi yang lebih besar bila dibandingkan dengan media pengerasan oli dan udara pada semua posisi pengukuran.
3. Semakin tebal benda uji atau material maka kekerasan yang didapat setelah proses pengerasan akan semakin kecil.
4. Media pengerasan air akan menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan media pengerasan oli maupun udara. Sedangkan kekerasan pada pendinginan udara lebih rendah dari kekerasan awal dikarenakan proses yang terjadi pada saat pembuatan awal benda uji.

## SARAN

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap proses perlakuan panas lainnya dan dengan geometri benda kerja yang lebih besar dan kompleks. Selain itu kualitas air dan kekentalan oli juga dapat mempengaruhi kekerasan yang dihasilkan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. ASM "Metal Hand Book" Metallography and Micro structures Vol 9, Metal Park, 1980.
2. ASM "Metal Hand Book" Heat Treating, Vol 11, Metal Park, 1980.
3. Avner Sidney. H. Prof, "Introduction to Physical Metallurgy" Mc.Graw-Hill, Singapore, 1974.
4. G.E. Totten C.E. Bates, and N.A. Clinton."Handbook of Quenchants and Quenching Technology, ASM International, Ohio, 1993.
5. George E.Dieter, Mechanical Metallurgy, Mc Graw-Hill, Singapore, 1987.
6. Kark Erik Thelning, "Steel and its Heat Treatment", Bofor Hand Book, Printed in England, 1975.
7. Krar. Oswald, Technology of Machine Tools 4th edition, Mc.Graw-Hill, New York,1990.
8. Krauss George, Principles of Heat Treatment of Steel", ASM Metal Park, Ohio, 1980.
9. Smith William F. "Structure and Properties of Engineering Alloys", Mc. Graw – Hill, Tokyo, 1981.
10. V.B.John, Introduction to Engineering Material, 2nd Edition, Mac Milan, New york,1983.
11. William D. Callister, Material Science and Engineering, John Willey & Sons Inc, Ohio, 1982.
12. Wilson Robert, "Metallurgy and Heat Treatment of Tool Steels", Mc. Graw – Hill, London, 1975.